

センサーネットワークによる能動的な環境の実現に向けて



栗 原 智*

1. はじめに

近年のコンピュータの小型・高性能・省電力化やIPv6の登場、またIEEE802.11を始めとする各種無線技術の進展やREIDなどの無線タグの実用化によって、センサーネットワークシステムやユビキタスコンピューティングに関する研究が大いに注目されている。そして、現在までに提案されている多くのユビキタスシステムの目的が「仮想世界の情報を実環境の物理性を利用して提示・操作すること」であると言える^[1]。これに対し、現在我々は多数のセンサー、プロセッサ、コンピュータ、アクチュエータなどのデバイス群が遍在する実環境において、「共鳴」をキーワードとする新しいHuman-Environment Interaction Frameworkの創出を目指した研究に取り組んでいる^[2]。これは、実世界の物体に起因する様々なデータそのものと人とのインタラクションを成立させるためのインターフェースの構築を目的とするものである。これまで様々なユビキタス環境が提案されているものの、インタラクションの方法としては、壁に埋め込まれたモニタやスピーカによって情報を人に提供する枠組を用いて環境から人に対する一方的な情報の流れを構築しているだけと見ることも出来る。

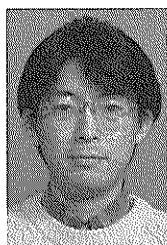
これに対し、本研究において我々が考えるHuman-Environment Interactionでは、人と環境との間に、「以心伝心」や「阿吽の呼吸」、「一を言えば十を知る」といった言い回しで表現される関係を構築すること

が目標であり、このような関係を、本研究では「人と環境との共鳴」と捉える。ところで、我々は人と共鳴するための能力をどのようにして獲得しているのであろうか？これは、お互いが長い時間をかけて互いの個性や習慣的行動パターンや癖を学習し、獲得した相手の行動モデルを基に相手の行動を正しく予測でき、予測に基づいて身体(手など)を用いて相手に対して何らかのインタラクションを実行できるからである。そして、この学習プロセスは我々の持つ『五感』というセンサーや対話などからの情報を介して行われる。従って、もしも我々を取り囲む、これまでには静的な存在であった「環境」に対して、人と同じような知覚・学習・インタラクション能力を付与することができれば、これまで人との間でのみ構築された共鳴関係を、人と環境との間でも構築できるかもしれない。

これを実現するためには、まずは、(1)人の習慣的行動パターンや癖などを知覚する(五感に相当する)能力を環境に付加するために、センサーネットワークの設置や、場合によっては人や物の特定を容易にするRFIDなどのタグ技術の導入を行い、得られるセンサーデータから人の習慣的行動パターンなどを抽出して学習する機能を実現する必要がある。そして、次の段階として、(2)環境が人と共鳴するための様々なインタラクションデバイスを通路などを含む複数箇所に設置し、常にセンサーによって人の動きを見守りつつ、学習結果に基づいて各デバイスを適切に操作し、ある特定の人物に対するインタラクションを行うべき状況が発生した場合には、最適なタイミングで最適なインタラクションを実行する機構を実装する必要がある。

2. センサーネットワークによる人間行動抽出

実際に図1のように、研究室に実験的にセンサーネットワークを設置した。赤外線センサー(L_1 ～ L_{20})を人の移動する動線上に設置し、人がセンサーの前



*Satoshi KURIHARA
1965年生
現在、大阪大学産業科学研究所・知能システム科学部門、助教授、工学博士、人工知能
TEL 06-6879-8427
FAX 06-6879-8428
E-mail : kurihara@ist.osaka-u.ac.jp

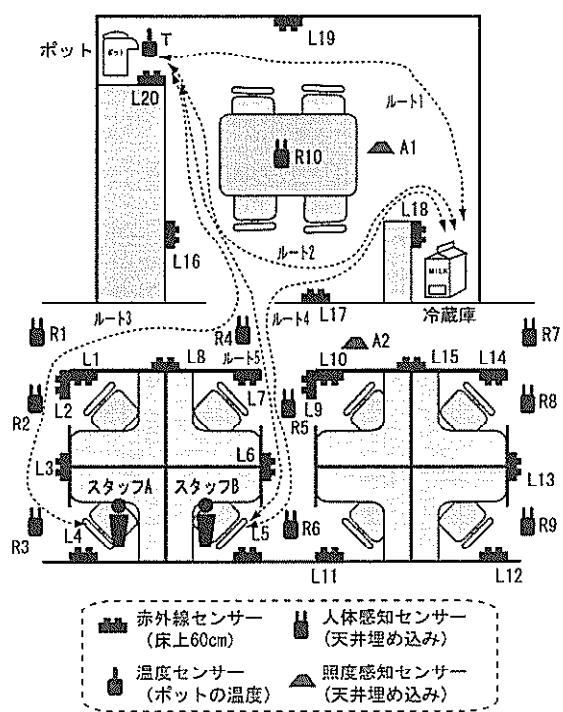


図1 センサー配置例

を横切ることを検知する。温度センサー(T)は電気ポットの温度を計測(図3(左上)), 人体感知センサー($R1 \sim R10$)は人体から発せられる赤外線を検知して赤外線センサーよりも広いエリアにおいて人の動きを検知する(図2(右)). 照度センサー(A_1, A_2)はミーティング室(図1の上の部屋)と居室(同図の下の部屋)それぞれの部屋の明るさを計測する. 省略されているが, 実際には図3に示すような, 部屋の扉や冷蔵庫扉の開閉を感知する接触センサー, そして電気ポットの場所においてコーヒー等を入れる際の匂いを感じるセンサーなども設置されている.

ここで、図中のスタッフAがある時刻においてコーヒーを入れなくなり、自席から電気ポットまでルート3のように移動したとする。この場合、 $L4 \rightarrow L3 \rightarrow L2 \rightarrow L8 \rightarrow L16 \rightarrow L20$ の順で赤外線センサーが反応したとする。このような赤外線センサーの反応時系列のログをその行動が発生した時刻とともに記録し、繰り返し発生頻度の高い反応時系列を抽出して習慣的な行動パターンを獲得する。そして、抽出される各反応時系列に対して、発生した時点での温度センサーや照度センサーなどの情報や時系列に沿ってスタッフAが移動に要した時間を付加した一連のデータを最終的な行動系列として蓄積し、インタラクション

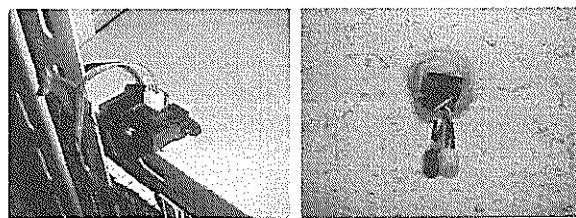


図2 赤外線センサー(左)と人体感知センサー(右)



図3 温度センサー(上左), 刈いセンサー(上右),
ドア開閉検知センサー(下左), 床投影用液晶
プロジェクタ(下右)

ンを行う際に利用する。時系列が発生する時刻を記録しておく理由は、時間帯による人の行動パターンの差も有用だからである。

ここで問題は、実際に正しい赤外線センサーの反応時系列を抽出できるかであるが、本研究は一般家庭やオフィスなど、特定の人々が日々習慣的に生活する環境を想定している。つまり、このような環境では常に複数の人が不規則に移動するという状況は不自然であり、基本的には各人は自分のホームポジションを呼べる場所におり、何かしら目的が発生

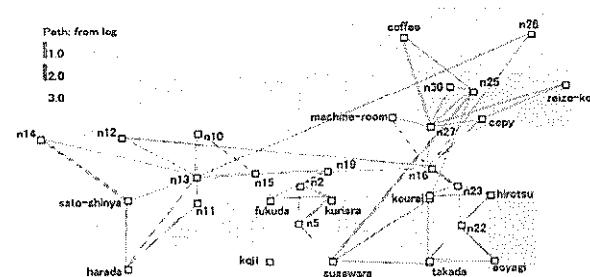


図4 抽出された隣接センサー関係を示すグラフ

するたびに移動を開始し、再びホームポジションに戻る行動を繰り返すと考えられることから、長時間に渡ってセンサーの反応を見ると、一人だけが移動している頻度の方が、同時に複数人が移動する頻度よりも相対的に高くなるはずであるという仮定を前提としている。実際に実験してみたところ、高々数週間のセンサーデータからでも、図4に示すように隣接するセンサーの接続図をある程度正確に抽出することが出来ている。

3. 環境から人へのインタラクション

例えば、朝一番に出社したスタッフにとっては、環境が気をきかせて部屋の照明を自動的につけてくれるとありがたく、二番目に出社したスタッフにとってはコーヒーを飲もうと席をはなれた時点で、環境が『電気ポットの水が沸いていない』ということを教えてくれると、無駄な行動を起こす手間が省けてありがたい。このようなしきみを実現するためには、環境には次の二つのインタラクションを実行するための目的を持たせればよい。

環境は常にセンサネットワークを通して人の行動を見守り、各個人が行動系列に沿った行動を開始したことを察知すると、次に示す2つの行動のうちの一方を選択し実行する。

1. 察知した行動系列に沿った行動を無事に完了させるようとする行動
2. 察知した行動系列の完了が不可能であると推測された場合に、この行動系列の達成を試みる人に対して、達成不可能であることを早急かつより効果的に通知し、無駄となる可能性の高い行動を中止させようとする行動

3.1 行動系列に沿った行動を達成させようとする場合

スタッフAが移動を開始して、 $L4 \rightarrow L3 \rightarrow L2$ の順番にて赤外線センサーが反応し始めたとする。すると環境は $L4 \rightarrow L3 \rightarrow L2$ という反応時系列を含む学習済み行動系列を探索、複数の候補の中から最も習慣的に繰り返されている行動系列である $L4 \rightarrow L3 \rightarrow L2 \rightarrow L8 \rightarrow L16 \rightarrow L20$ が該当したとする。すると、環境はこの行動系列における温度センサーや照度センサーなどの値と、現時点でのそれらの値の比較を行う。ここでは、例としてミーティング室の照明が誤って消灯されていたとする。

この場合は、「現在の状態」を「学習で獲得された状態(別の言い方をすれば目標状態)」に変換するための環境側の行動が発動されることになる。この例では照明スイッチのオンという行動で「現在の状態」を「学習で獲得された状態」変換することができる。なお、照明スイッチの操作のように、行動が瞬時に実行でき、かつそれによる状態の変換(環境の変化)も瞬時に完了できる場合に限り実際にその行動を発動する。すると、スタッフAがミーティング部屋に到達し、照明スイッチを自分で操作する前に自動的にミーティング室の照明が点灯され、スタッフAによる手間を省略することが出来る。リスク回避という観点から見ると、リスク発生の「検知」とその「回避」が環境によって自動的に行われるということになる。

3.2 行動の達成が不可能と推測された場合

しかし、常に現在の状態を人の行動に合わせて都合よく目標状態に変換できるわけではない。例えば、電気ポットのスイッチを入れる行動では、スイッチを入れたとしてもポット内の水が沸騰しなければ温度センサーの状態が目標状態とはならない。

この場合、スタッフAがポットに移動する行動を環境が察知し、その時点でポットのスイッチを入れる行動を実行したとしても、彼がポットに到達する短い時間では沸騰状態にはならず、目標を達成することはできない。従ってこの場合は、環境はスタッフAがポットに移動しようとする行動そのものとなるべく早く中断させることが得策となる。つまり「行為を中止させること」がリスク回避ということになる。具体的には、通路などに設置されるモニタや図2(右下)に示すようなプロジェクトにより『ポットの水がまだ沸いていない』などの情報を提示する行動が自動的に実行される。

4. 議論

冒頭において、状況によっては人や物の特定を容易にするRFIDなどのタグを導入する必要があると述べたが、本研究では現段階においてタグの導入は行っていない。一般家庭において、子供などに常にタグを持たせることを強要することは非現実的であることや、タグ自体は安価であるものの、タグの情報を読み取る装置は高価であることなどが理由である。また、今後タグの導入はインフラとして積極的に行われることは間違いないものの、100%確実に導入さ

れるとは考えにくく、タグが存在しない状況においてもシステムが稼動できることは必要であろう。

次にインタラクションの方法についてであるが、図3(右下)では温度センサーの状態を、「お湯沸いてないよ!」というテキストとして提示しているが、これを実現するためには、「温度センサーの値が小さいこと」が「お湯が沸いてないこと」であるという関係を人が手作業にてシステムに与えておく必要がある。この問題に対し、「センサーの値をそのまま提示してしまう」、这种方法も考えられる。これでは何のことだか分かりにくいと思われるかもしれないが、この情報が有用である人が、一度でも「センサーの値」と「お湯が沸いてないこと」の対応を学習できてしまえば(言い換えれば、センサーの値が投影された状態がアコードする情報を知覚できるようになれば)、環境が詳細なお膳立てをしなくとも人の方が適応してくれることが期待でき、この方式の方が人と環境との共鳴という考え方には合致していると言える。

5. まとめ

センサーネットワークを始めとするユビキタス環境下での人と環境との新しいインタラクションの枠組について述べた。人と人の間で以心伝心や阿吽の呼吸が出来ている状況を人と人とか共鳴していると捉える。この関係を人と環境との間で成立させるためには、環境にセンサーネットワークなどを設置し

て人の習慣的行動パターンなどを知覚し学習する機能と、各種インターラクションデバイスを設置し、学習によって得られた各人の情報を利用して、適切なタイミングで適切な場所に情報を提示するインターラクション機能が必要となる。インターラクションは、(1)習慣的行動を円滑に達成させることを第一目的とし、(2)これが不可能と判断される場合はその行為の中止を促すことを第二目的とする。現在は、行動パターンの抽出と学習に関して研究を進めている最中であり、インターラクションに関する研究も開始する予定である。

参考文献

- [1] 中島秀之, 橋田浩一, 森 彰, 伊藤日出夫, 本村陽一, 車谷浩一, 山本吉伸, 和泉 潔, 野田五十樹: 情報インフラに基づくグラウンディングとその応用—サイバーアシストプロジェクトの概要—, コンピュータソフトウェア, Vol.18, No.4, pp.48–56(2001).
- [2] Satoshi Kurihara, Shigemi Aoyagi, Toshihiro Takada, Toshio Hirotsu and Toshiharu Sugawara, “Agent-Based Human-Environment Interaction Framework for Ubiquitous Environment”, 2nd International Workshop on Networked Sensing Systems(INSS2005), 2005.

